

***STATIC NONLINEAR PUSHOVER ANALYSIS UNTUK
PERFORMANCE BASED DESIGN PADA GEDUNG PASCASARJANA
FAKULTAS MIPA UGM***

**NASKAH PUBLIKASI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**RIDO JONATHAN FERNANDES MANURUNG
NIM. 135060101111011**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2017**

**STATIC NONLINEAR PUSHOVER ANALYSIS UNTUK PERFORMANCE
BASED DESIGN PADA GEDUNG PASCASARJANA FAKULTAS MIPA
UNIVERSITAS GADJAH MADA**

*(Static Nonlinear Pushover Analysis for Performance Based Design of the Postgraduate
Building of Faculty of Mathematics and Natural Sciences Gadjah Mada University)*

Rido Jonatahan Fernandes Manurung., Ari Wibowo., Sugeng P. Budio

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia -Telp (0341) 567886
Email : Ridojonathanmanurung@gmail.com

ABSTRAK

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*Performance based design*) merupakan proses perancangan bangunan baru maupun perkuatan dengan memperhatikan kapasitas struktur. Metode ini menjelaskan perilaku inelastic komponen struktur bangunan. *Static nonlinear pushover analysis* dapat memenuhi kriteria *performance based design*, konsep analisis ini adalah memberikan suatu pola beban lateral statik terhadap bangunan secara bertahap sampai memenuhi target perpindahan lateral yang direncanakan pada suatu titik yang di pusat massa atap. Pemodelan analisis dilakukan dengan mengambil contoh bangunan yang sudah berdiri, yaitu gedung pasca sarjana (gedung S1 dan S2 terpadu) fakultas MIPA UGM. Analisis dilakukan menggunakan prosedur A dan B sesuai dengan ATC 40, beban gempa desain ditentukan berdasarkan SNI 1726-2012. Hasil yang diperoleh dari analisis ini adalah metode A dan metode B menunjukan hasil yang mendekati, prosedur A diperoleh titik kinerja ($S_a; S_d$) = (0,77g; 0,074m), dan prosedur B diperoleh titik kinerja ($S_a; S_d$) = (0,974g; 0,059m). Analisis tingkat kinerja struktur berdasarkan deformasi menunjukan bahwa struktur berada dalam fase *Immediate Occupancy*. Mekanisme runtuh struktur pada kondisi titik kinerja menunjukan mekanisme *strong column weak beam* sehingga struktur bangunan tersebut relative aman selama terkena beban gempa direncanakan..

Kata Kunci : *performance based design, pushover analysis, performance point, performance level*

ABSTRACT

Performance based design is the process of designing new and retrofittable buildings with respect to structural capacity. This method can explain the inelastic behavior of the structural components of the building. Static nonlinear pushover analysis is the one of the methods of analysis within the scope of performance based design, with the concept of adding the increment of the static lateral load acceleration and the corresponding increment of the roof displacement.. In this analysis, it takes the case of actual building as the model of structure, that is the postgraduate building of faculty of mathematics and natural sciences Gadjah Mada University. . This pushover analysis using procedure A and B according the ATC 40, while the earthquake load is determined based on SNI 1726-2012. This analysis show that procedure A and B have the approximate result. Based on the procedure A, it obtains the performance point ($S_a; S_d$) = (0,77g; 0,074m), while the procedure B shows the performance point ($S_a; S_d$) = (0,974g; 0,059m). the performance level is shown that the structure is located at Immediate Occupancy phase. The collapse mechanism of the structure shows the strong column weak beam mechanism. That means the structure is relative safe during the earthquake load design.

Keywords: *performance based design, pushover analysis, performance point, performance level*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu Negara yang memiliki intensitas gempa yang tinggi, hal ini disebabkan posisi Geografis Indonesia. Indonesia terletak pada jalur cincin api (Ring of Fire) kawasan pasifik dan pertemuan tiga lempeng tektonik besar dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Trend terbaru perencanaan bangunan tahan gempa saat ini adalah perencanaan berbasis kinerja (*Performance Based Design/PBD*). Konsep perencanaan berbasis kinerja merupakan kombinasi dari aspek ketahanan dan aspek layan. Dengan memanfaatkan *static nonlinear pushover analysis* menggunakan komputer untuk menganalisis perilaku inelastik dari struktur, sehingga dapat diketahui kinerjanya pada kondisi kritis.

TUJUAN

Analisis ini bertujuan mengetahui penggunaan *static nonlinear pushover analysis* sesuai tahapan dengan penggunaan prosedur A dan B dalam ATC 40, pada objek 3 dimensi, sehingga didapatkan parameter yang menggambarkan kinerja struktur bangunan sesuai dengan konsep dalam metode *performance based design*

TINJAUAN PUSTAKA

Performance Based Design

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja sebagai pengembangan dari konsep PBD merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang (Wirianto Dewobroto, 2005).

Menurut ATC-40 terdapat level kinerja elemen struktural dari sebuah bangunan, yaitu sebagai berikut:

1. SP – 1 , *Immedite Occupancy*

Kinerja struktur tertinggi tingkat SP – 1 adalah *immediate occupancy* (IO) atau segera huni merupakan kondisi dimana setelah gempa terjadi, daerah yang mengalami kerusakan masih tetap aman untuk ditempati..

2. SP – 2 *Damage Control*

Kinerja struktur di tingkat SP – 2 adalah *damage control* (DC) atau kontrol kerusakan, yang didefinisikan sebagai kerusakan antara level kinerja SP – 3 *Life Safety* (LS) atau keselamatan hidup dan

level kinerja SP – 1 *Immediate Occupancy* (IO) atau segera huni.

3. SP – 3 *Life Safety*

Kinerja struktural di tingkat SP – 3 adalah *Life Safety* (LS) atau keselamatan hidup dimana terjadi kerusakan komponen struktural setelah gempa terjadi, tetapi masih dapat mempertahankan batas terhadap timbulnya keruntuhan parsial atau total yang masih dalam batas yang ditetapkan dalam standar untuk level kinerja struktural ini.

4. SP – 4 *Limited Safety*

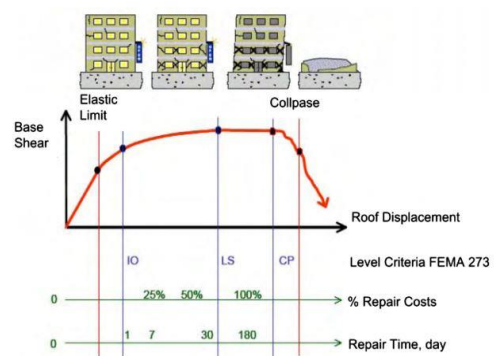
Kinerja struktur tingkat SP – 4 adalah *Limited Safety* atau keamanan terbatas, yang didefinisikan sebagai kerusakan antara level SP – 3 *Life Safety* atau keselamatan hidup dan SP – 5 *Collapse Prevention* (CP) atau pencegahan runtuh.

5. SP – 5 *Collapse Prevention*

Kinerja struktur tingkat SP – 5 adalah *Collapse Prevention* (CP) atau pencegahan keruntuhan merupakan kondisi dimana setelah gempa terjadi, kerusakan pada komponen struktural seperti struktur penahan beban gravitasi akan tetapi masih dalam batas runtuhnya sesuai dengan standar yang telah ditetapkan tingkat kinerja struktur

6. SP – 6 *Not Considered*

Kinerja bangunan yang tidak membahas struktur harus diklsifikasikan sebagai kinerja struktur yang tidak dipertimbangkan.



Gambar 1. Ilustrasi tingkat kinerja bangunan

Sumber: FEMA 273

Static Nonlinear Pushover Analysis

Static Nonlinear Pushover Analysis adalah sebuah analisis yang dapat mengetahui perilaku

keruntuhan sebuah struktur bangunan terhadap gempa. Konsep dari analisis ini adalah memberikan suatu pola beban lateral static terhadap bangunan secara bertahap sampai memenuhi target perpindahan lateral yang direncanakan pada suatu titik yang terdapat di pusat massa atap. Konsep *geometric nonlinearity* memperhitungkan distribusi gaya terhadap elemen-elemen struktur. Gaya-gaya aksial dalam elemen akibat beban akan diperhitungkan dalam analisis nonlinear, sehingga dapat memperlihatkan perilaku struktur sesungguhnya terhadap beban.

Dua hal yang menjadi perhatian dalam analisis ini adalah *capacity* dan *demand*. Capacity ditentukan dengan merubah kurva hubungan *base shear-displacement* menjadi kurva ADRS, demand ditentukan dengan merubah respon spektrum desain kedalam kurva ADRS.

METODE PENELITIAN

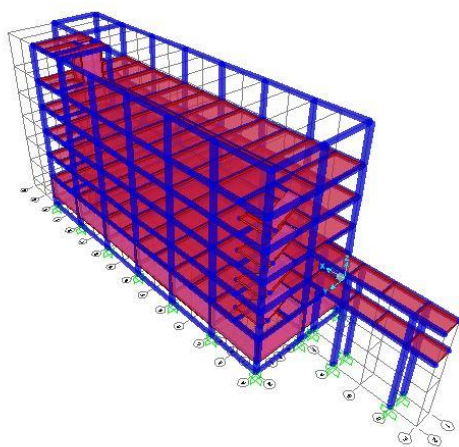
Preliminary Design

Bangunan yang menjadi obyek dalam penelitian ini adalah Gedung Pascasarjana (S2 dan S3 terpadu) Fakultas MIPA UGM, sebagai gedung perkuliahan dengan 6 lantai termasuk basement tidak termasuk atap. Luas bangunan $\pm 622,08 \text{ m}^2$, tinggi bangunan 20,35 m

Tabel 1. Mutu Bahan

Bahan	Mutu
Beton	f'_c 25 Mpa
Tulangan ulir (<i>deform</i>)	f_y 390 Mpa
Tulangan polos (<i>plain</i>)	f_y 240 Mpa

Pemodelan Struktur



Gambar 3. Model analisis

Sistem koordinat global struktur adalah sebuah koordinat system 3 dimensi memenuhi aturan tangan kanan dan *rectangular*. Didalam SAP2000, tiga sumbunya dinyatakan dalam X, Y dan Z yang saling tegak lurus. Bidang sumbu X-Y terdapat pada arah horizontal sedangkan sumbu Z memiliki arah vertical. Struktur dimodelkan hanya struktur balok kolom primer, sehingga ada penyederhanaan struktur dari gambar DED yang bertujuan untuk menyederhanakan proses analisis dan memperlihatkan hanya hasil analisis struktur utama dari bangunan tersebut.

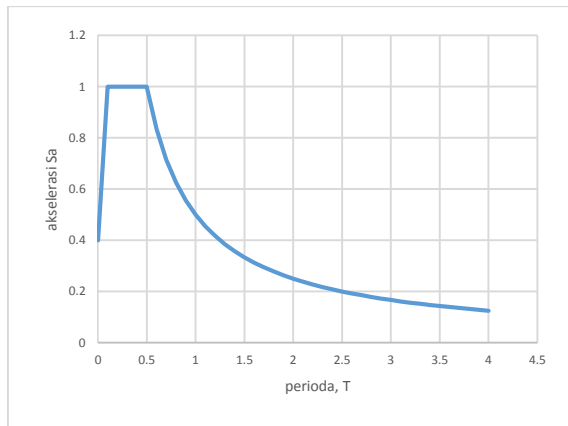
Tabel 2. Berat Struktur tiap lantai

Lantai	W
Basement	511,011.990 kg
1	641,001.654 kg
2	913,688.904 kg
3	891,570.504 kg
4	884,422.704 kg
5	850,151.658 kg
Atap	136,712.520 kg
Jumlah	4,828,559.934 kg

Elemen non-struktural seperti dinding, keramik, plafon, tidak dimodelkan, dan hanya dijadikan beban struktur yaitu sebagai beban mati tambahan, diharapkan beban yang diperhitungkan penulis untuk diterima struktur dapat mendekati kondisi sesungguhnya Detail setiap elemen di modelkan sesuai dengan gambar DED (*Detail Engineering Design*) dan dimodelkan dengan menggunakan SAP2000 v18.2.0.

Beban gempa dihitung berdasarkan peraturan gempa SNI-1726-2012, dengan arah pembebanan merupakan arah pembebanan desain yang menghasilkan pengaruh beban paling kritis, untuk mensimulasikan arah pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama harus dianggap 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus dengan arah pembebanan tadi tapi dengan efektifitas hanya 30%. Dalam penentuan beban gempa, kategori resiko = 4, untuk gedung sekolah dan fasilitas pendidikan. Faktor keutamaan (I_e) = 1,5, berdasarkan tabel 3.3 SNI 1726-2012. Klasifikasi situs (tanah) = SD (Tanah sedang) berdasarkan perancangan Kombinasi system perangkat dalam arah yang berbeda, dalam analisis ini struktur ditentukan sebagai rangka beton bertulang pemikul momen menengah dengan nilai:

$$R = 5 \quad \Omega_0 = 3 \quad C_d = 4,5$$



Gambar 4. Grafik respon spektrum desain

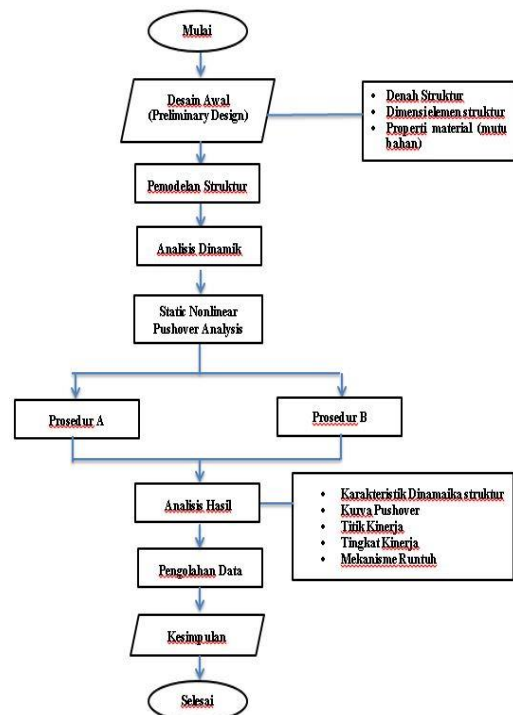
Langkah-langkah Analisis Struktur

Adapun langkah –langkah dalam penulisan ini sebagai berikut:

1. Membuat model struktur berdasarkan gambar DED (*Detail Engineering Design*) dengan melakukan penyederhanaan pada elemen sekunder.
2. Melakukan analisis karakteristik dinamika struktur, dengan memperhitungkan waktu getar alami berdasarkan peraturan yang berlaku dan frekuensi natural, serta penentuan ragam getar pada struktur.
3. Melakukan analisis Dinamik Linear Respon spektrum, dengan kombinasi beban gempa sesuai peraturan yang dijalankan secara otomatis dengan software SAP2000 v.18.2.0. Nilai puncak gaya dalam, perpindahan, gaya geser tingkat dan gaya dasar setiap ragam yang ditinjau, dikombinasikan dengan cara CQC (*complete quadratic sum of squares*) Analisis hasil perhitungan untuk mendapatkan simpangan atau *drift* dan beban gempa dasar struktur pada kondisi beban desain.
4. Evaluasi beban gempa dasar struktur yang dihasilkan analisis dinamik pertama dengan mempertimbangkan waktu getar alami struktur sesuai dengan peraturan, lalu didapatkan rasio pembebanan gempa yang selanjutnya dilakukan analisis dinamik kembali sehingga didapatkan simpangan yang sesuai dengan beban gempa dasar menurut peraturan
5. Evaluasi simpangan dan *drift* struktur berdasarkan peraturan yg berlaku.
6. Melakukan Statik Nonlinear Pushover Analysis, dengan metode A dan B. Untuk melihat mekanisme runtuh dari struktur maka setiap komponen harus dapat dilihat perilaku leleh masing-masing komponen struktur, oleh karena itu setiap komponen harus dimodifikasi perilakunya dengan menempatkan sendi plastis pada elemen lentur, hal tersebut diberikan pada ujung balok dan kolom.

7. Pada SAP2000 sendi plastis sudah *built-in* dengan menggunakan peraturan FEMA 356 .Menu untuk menempatkan sendi plastis adalah *hinge properties*. Pada analisis ini digunakan *hinge properties* tipe *auto* yang memperhatikan momen untuk balok dan gaya aksial dan momen pada kolom.
8. Tentukan *displacement control* yang akan ditinjau
9. Struktur diberikan gaya dorong lateral secara bertahap dan semakin besar sampai *displacement control* tercapai
10. Rekam setiap gaya lateral dan *displacement*.hasil ini yang selanjutnya akan menjadi kurva kapasitas
11. Kurva kapasitas diperoleh dengan analisis menggunakan SAP2000 v.18.2.0 lalu metode A dianalisis dengan menggunakan *Microsoft excel* sesuai peraturan yang berlaku dalam ATC40. Metode B didapatkan dari analisis dengan menggunakan SAP2000.
12. Mengevaluasi titik kinerja struktur (S_a , S_d , V , D) antara metode A dan metode B
13. Mengevaluasi tingkat kinerja struktur masing-masing metode
14. Mengevaluasi mekanisme runtuh struktur berdasarkan titik kinerja masing-masing metode
15. Mengevaluasi simpangan/*drift* dan gaya gempa dasar pada titik kinerja.
16. Mengevaluasi simpangan/*drift* masing-masing analisis

Diagram Alir Analisis



Gambar 5. Diagram alir analisis

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Waktu Getar Alami dan Frekuensi Natural

Tabel 3. Waktu getar alami dan frekuensi Natural

Pola Getar	Periode (detik)	frekuensi (siklus/detik)
1	0.621192	1.609808626
2	0.568665	1.758503135
3	0.486387	2.055977303
4	0.2218	4.508571465
5	0.20871	4.791341329
6	0.16706	5.985860187
7	0.140935	7.095459267
8	0.134086	7.45789195
9	0.127908	7.818129751
10	0.126913	7.879430062
11	0.125718	7.954312926
12	0.124922	8.004968492

Bedasarkan hasil analisis diketahui bahwa pola getar 1 bertranslasi pada arah sumbu X, dan pola getar 2 bertranslasi pada arah sumbu Y, dan pola getar 3 berotasi pada arah sumbu Z. sehingga ditetapkan $T_x = 0.621192$ detik dan $T_y = 0.568665$ detik.

Analisis Dinamik Respon Spektrum

Koefesien Respon Seismik

Koefesien respon seismic harus ditentukan dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada pasal 7.8.1.1.SNI 1726-2012,

1. Arah sumbu X

- $C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$,
 $C_s = 0,044 \times 1 \times 1,5 \geq 0,01$
 $C_s = 0,066 \geq 0,01$

maka didapatkan nilai $C_s = 0,066$

- $C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$,
 $C_s = \frac{1}{\left(\frac{5}{1,5}\right)}$

$C_s = 0,3$, maka didapatkan nilai $C_s = 0,3$

Bedasarkan pasal 7.8.1.1 SNI 1726-2012, $C_s = 0,3$ tidak perlu melebihi C_s dengan persamaan berikut ini:

- $C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$,
 $C_s = \frac{0,5}{0,6211\left(\frac{5}{1,5}\right)}$

$C_s = 0,2415$, maka didapatkan nilai $C_s = 0,2415$

Bedasarkan hasil perhitungan diatas, maka ditentukan C_s untuk sumbu x=0,2415

2. Arah sumbu Y

- $C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$,

$$C_s = 0,044 \times 1 \times 1,5 \geq 0,01$$

$C_s = 0,066 \geq 0,01$, maka didapatkan nilai $C_s = 0,066$

- $C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$,

$$C_s = \frac{1}{\left(\frac{5}{1,5}\right)}$$

$C_s = 0,3$, maka didapatkan nilai $C_s = 0,3$

Bedasarkan pasal 7.8.1.1 SNI 1726-2012, $C_s = 0,3$ tidak perlu melebihi C_s dengan persamaan berikut ini:

- $C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$,

$$C_s = \frac{0,5}{0,5686\left(\frac{5}{1,5}\right)}$$

$C_s = 0,2638$, maka didapatkan nilai $C_s = 0,2638$

Bedasarkan hasil perhitungan diatas, maka ditentukan C_s untuk sumbu y=0,2638.

Gaya Geser Dasar Seismik

Menurut pasal 7.8.1 SNI 1726-2012, dalam arah yang ditetapkan, harus ditentukan dengan persamaan berikut ini:

$$V = C_s$$

$$\dots\dots\dots(1)$$

Tabel 4 Gaya Geser Dasar Seismic (Empiris)

	V (kg)
Sumbu X	1166131.042
Sumbu Y	1273802.304

Untuk menghasilkan pengaruh beban gempa yang paling kritis, maka arah pembebanan diterapkan 100% arah ditinjau dan 30% arah orthogonal horizontal dari arah ditinjau, dalam analisis ini menggunakan bantuan software SAP2000, beban gempa dikombinasikan dengan cara CQC(*Complete Quadratic Sum of Square*).

Tabel 5. Gaya Reaksi Dasar (Belum dikoreksi)

OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
DEAD	LinStatic	-1750.79	1544.5	4759278.5
live	LinStatic	-2366.69	-1122.62	772290
Ex	LinRespSpec	1312098.47	327813.4	22405.43
Ey	LinRespSpec	474522.89	875215.74	45750.65

Menurut pasal 7.9.4.1 SNI 1726-2012, dalam penentuan skala pembebanan gempa nominal akibat pengaruh beban rencana (V_t) dalam hal ini dengan bantuan SAP2000 harus diatas 85% beban gempa hasil respon ragam yang pertama (V) yang dihitung dengan prosedur gaya lateral ekuivalen.

1. Evaluasi beban gempa arah X

Bedasarkan perhitungan beban gempa dasar dengan prosedur gaya lateral ekuivalen, didapatkan nilai $V = 1166131.042\text{kg}$. Hasil respon spektrum adalah sebagai berikut:

$$V_t = 1312098.47 \geq 0,85 V = 991211,386$$

Karena nilai V_t memenuhi batasan dalam SNI 1726-2012, maka beban gempa ditetapkan $V_t = 1312098.47\text{ kg}$.

2. Evaluasi beban gempa arah Y

Bedasarkan perhitungan beban gempa dasar dengan prosedur gaya lateral ekuivalen, didapatkan nilai $V = 1273802,304\text{kg}$. Hasil respon spektrum adalah sebagai berikut:

$$V_t = 875215,74 \leq 0,85 V = 1082731,96$$

Karena nilai V_t tidak memenuhi batasan dalam SNI 1726-2012, maka beban gempa ditetapkan $0,85 V = 1082731,96\text{kg}$, sehingga skala gaya yang digunakan dalam SAP2000 harus diperbesar senilai $1082731,96/875215,74 = 1,2371$

Tabel 6. Gaya Reaksi Dasar (setelah dikoreksi)

OutputCase	CaseType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
DEAD	LinStatic	-1750.79	1544.5	4759278.5
live	LinStatic	-2366.69	-1122.62	772290
Ex (koreksi)	LinRespSpec	1310760.96	327479.23	22382.59
Ey (koreksi)	LinRespSpec	587032.27	1082729.39	56598.13

Simpangan Struktur

Nilai simpangan struktur berdasarkan SNI 1726-2012 harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Menurut pasal 7.8.6 penentuan defleksi (δ_x) berdasarkan persamaan:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_x}{I_e} \dots\dots\dots (2)$$

Faktor amplifikasi defleksi (C_d) ditentukan 4,5 untuk sistem rangka beton bertulang pemikul momen menengah, dan faktor keutamaan gempa (I_e) ditentukan 1,5 untuk kategori resiko IV. Untuk simpangan ijin (Δ_a) ditentukan senilai 0,015h untuk kategori resiko IV pada struktur selain dari struktur dinding geser batu bata. Untuk kategori desain seismic D nilai simpangan ijin harus dibagi dengan nilai redundansi (ρ) senilai 1,3.

Tabel 7. Simpangan Lateral Arah Sumbu-X

lantai	H (m)	δ_e (m)	$\delta_{ex} - \delta_e(x-1)$ (m)	δ_x (defleksi) (m)	$\Delta a/\rho$ (m)
roof	5	0.114271	0.024733	0.342813	0.057692
5	3.85	0.089538	0.022102	0.268614	0.044423
4	3.85	0.067436	0.025162	0.202308	0.044423
3	3.85	0.042274	0.024409	0.126822	0.044423
2	3.85	0.017865	0.017865	0.053595	0.044423
1	0	0	0	0	0
bsm	0	0	0	0	0

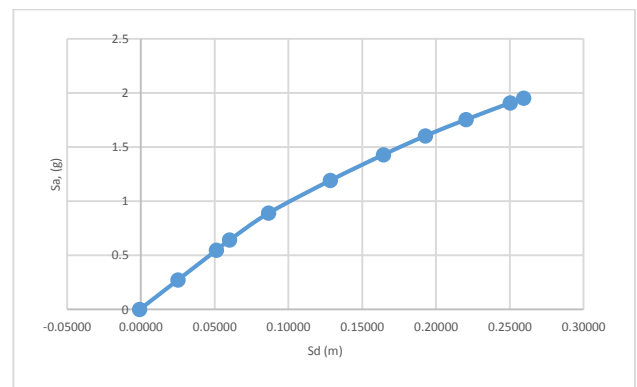
Tabel 8. Simpangan Lateral Arah Sumbu-Y

lantai	H (m)	δ_e (m)	$\delta_{ey} - \delta_e(y-1)$ (m)	δ_y (defleksi) (m)	$\Delta a/\rho$ (m)
roof	5	0.198134	0.032393	0.594402	0.057692
5	3.85	0.165741	0.031784	0.497223	0.044423
4	3.85	0.133957	0.045089	0.401871	0.044423
3	3.85	0.088868	0.048165	0.266604	0.044423
2	3.85	0.040703	0.040703	0.122109	0.044423
1	0	0	0	0	0
bsm	0	0	0	0	0

Static Nonlinear Pushover Analysis

Penentuan Capacity

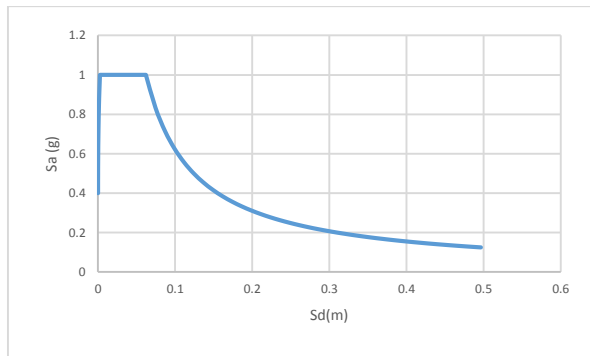
Hasil analisis diperoleh kurva hubungan *base shear-displacement* selanjutnya di konversi ke dalam kurva ADRS sesuai ATC40. Sehingga didapatkan kurva *capacity* hubungan S_a-S_d .



Gambar 5. Kurva capacity

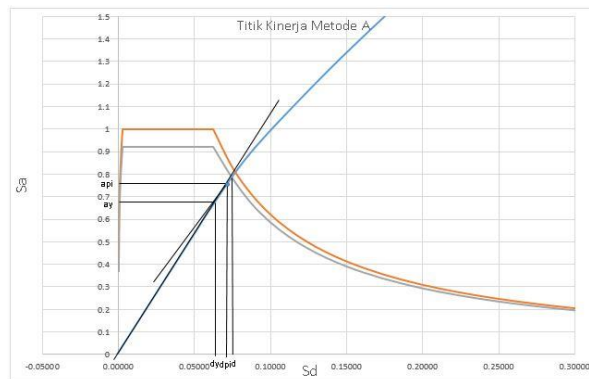
Penentuan Demand

Respon spektrum desain dikonversi ke dalam kurva ADRS, sehingga diperoleh kurva *demand* hubungan S_a-S_d .



Gambar 6. Kurva *demand*

Penentuan Titik Kinerja Prosedur A

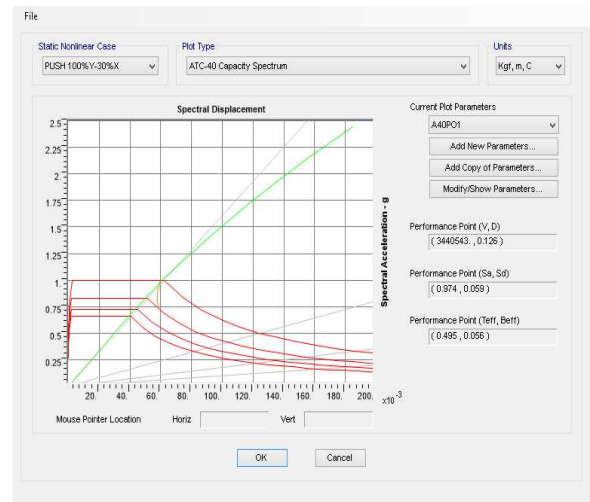


Gambar 7. Titik kinerja prosedur A

Kurva *capacity* dan *demand* diplot dalam satu kurva, lalu ditentukan titik kinerja menurut ATC40. Prosedur A menggunakan proses *trial and error* dalam penyelesaiannya dengan penentuan titik kinerja berdasarkan batasan yang ditetapkan ATC40. Hasil analisis diperoleh titik $d_{pi} = 0,074\text{m}$ dan $a_{pi} = 0,77\text{g}$ yang ditetapkan sebagai titik kinerja. Gaya lateral gempa $V = 3601938,6\text{ kg}$ dan *displacement* $D = 0,132\text{m}$

Penentuan Titik Kinerja Prosedur B

Analisis *pushover* dengan prosedur B dilaksanakan dengan menggunakan software SAP 2000, dimana prosedur ini secara khusus telah di built-in dalam program SAP2000, proses konversi kurva pushover ke format ADRS dan kurva respon spectrum yang direduksi dikerjakan otomatis oleh program. Titik kinerja struktur didapatkan antara tahap ke-4 dan 5 pembebanan lateral. Hasil analisis diperoleh Titik kinerja $(S_a; S_d) = (0,974; 0,059)$, gaya lateral gempa $= 3440543\text{ kg}$, *displacement* $= 0,126\text{ m}$. Titik kinerja terjadi antara pembebanan lateral ke-4 dan 5, berada pada tingkat kinerja *operational-intermediate occupancy* (B-IO).



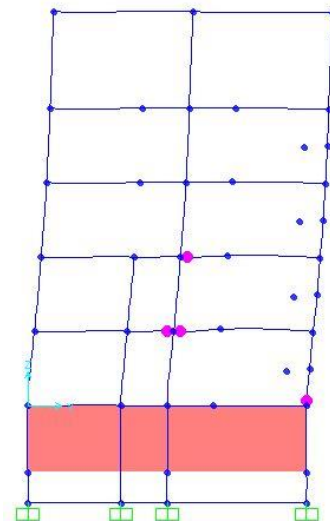
Gambar 8. Titik kinerja prosedur B

Tingkat Kinerja Struktur

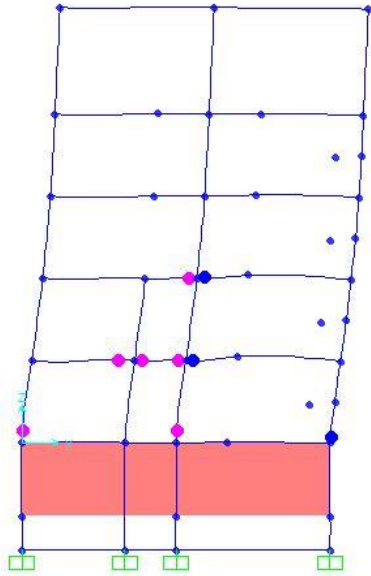
	H	Drift	Tingkat Kinerja Struktur
prosedur A	20.4	0.006509	immediate occupancy
prosedur B	20.4	0.006176	immediate occupancy

Tingkat kinerja struktur diperlihatkan bahwa perbedaan rasio drift yang didapat pada titik kinerja kedua prosedur tidak berbeda jauh dan berdasarkan ATC40, rasio drift struktur $< 0,01$, sehingga struktur masuk dalam kategori tingkat kinerja *Immediate Occupancy*.

Mekanisme Runtuh Struktur



Gambar 9. Mekanisme runtuh tahap 4



Gambar 10. Mekanisme runtuh tahap 5

Berdasarkan hasil analisis pushover, diketahui bahwa struktur bangunan terdapat pada fase Immediate occupancy yang berarti kerusakan akibat beban gempa dapat diperbaiki dengan waktu dan biaya yang relatif kecil. Perilaku bangunan pada saat menerima beban gempa menunjukkan kondisi balok leleh terlebih dahulu dibanding kolom. Hal ini menunjukkan kondisi bangunan memperhatikan keselamatan, sehingga korban jiwa akibat gempa dapat dihindari.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Perioda getar alami dan frekuensi sangat berpengaruh dalam penetapan beban gempa dasar, karena merupakan faktor untuk menentukan koefisien seismic (C). nilai perioda fundamental struktur diambil berdasarkan analisis beban lateral struktur untuk arah $y = 0,568$ s dan arah $x = 0,6211$ s dan sesuai dengan peraturan SNI 1726-2012
- Penentuan beban gempa dasar menggunakan analisis empiris dengan menurut SNI 1726-2012, dan setelah dievaluasi diperoleh beban gempa dasar $V_x = 1310760.96$ kg dan $V_y = 1082729.39$ kg.
- Analisis pushover mendapatkan hasil yang berbeda antara metode A dan metode B. hal ini terjadi karena adanya perbedaan asumsi antara kedua metode dan perbedaan metode penentuan analisis, karena metode A bersifat *trial and error*
- Titik kinerja metode A ($S_a; S_d$) diperoleh (0,77;0,074) dan metode B ($S_a; S_d$) diperoleh (0,974;0,059).
- Level kinerja kedua metode berada dalam tingkat *Immediate occupancy*

Saran

- Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penggunaan profil beton, serta mutu beton yang berbeda. Apakah akan mempengaruhi tingkat pelayanan dan *performance point* dari struktur
- Perlunya data-data struktur secara mendetail, sehingga hasil analisis dapat sesuai dengan keadaan sebenarnya
- Perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai pengaruh perilaku basement, dinding geser dan tangga terhadap kinerja bangunan

DAFTAR PUSTAKA

- Applied Technology Council (ATC). (1996). *ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*. California: California Seismic Safety Commission.
- Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2012). *SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Tahan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisis Pushover. unika Soegijapranata. *Civil Engineering National Conference: Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism*: 1-28. Semarang.
- Febriana, A, Wisnumurti, Wibowo, A. (2016). Analisis Pushover untuk Performance based Design (Studi Kasus Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya). *Journal Rekayasa Sipil Universitas Brawijaya*. Volume 1(2): 676-685
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington D.C: American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency Management Agency
- Park, R dan Paulay, T. (1976). *Reinforced Concrete Structures*. New York: John Wiley and Sons
- Taranath, B.S. (1998). *Structural Analysis & Design of Tall Buildings*, New York: McGraw-Hill book Co.
- Wisnumurti, Cahya, I, Anas, A. (2008). Analisis Pushover pada Gedung tidak Beraturan dengan Studi Kasus pada Gedung Baru FIA Unibraw. *Journal Rekayasa Sipil*. ISSN 1978-5658 (2):11-22.

